

Peligros hidrometeorológicos en un valle árido: abordaje geopedológico

Raúl Emmanuel Ocaña^a

Universidad Nacional de San Juan - INGEO (CONICET), San Juan - Argentina

Graciela Mabel Suvires^b

Universidad Nacional de San Juan - CIGEOBIO (CONICET), San Juan - Argentina

Resumen

Se expone el análisis geopedológico del valle intermontano de Zonda, Argentina, con el objetivo de que este sea aplicado en estudios de ordenamiento territorial. Los resultados indican que los riesgos provienen de tres cuencas principales: dos locales (bajadas pedemontanas, río Seco de la Ciénaga) y una regional (río San Juan), cada una con sus propias características. Los peligros más importantes corresponden a procesos de aluviones e inundaciones provenientes de los límites del valle y desbordes de los máximos caudales estivales del río San Juan. Los resultados fueron presentados en mapas que contienen unidades de relieve y riesgos hidrometeorológicos asociados. Los asentamientos humanos crecen en el valle en contacto con el piedemonte y están amenazados principalmente por aluviones de recurrencia anual y estival.

Palabras clave: aluviones, desarrollo sostenible, estrategias, geopedología, inundaciones.



doi: 10.15446/rcdg.v27n1.51135

RECIBIDO: 9 DE JUNIO DE 2016. ACEPTADO: 9 DE FEBRERO DE 2017.

Artículo de investigación sobre el análisis geopedológico del valle intermontano de Zonda (Argentina), con el fin de ser usado en estudios de riesgos naturales y de ordenación estratégica territorial.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Ocaña, Raúl Emmanuel, y Graciela Mabel Suvires. 2018. "Peligros hidrometeorológicos en un valle árido: abordaje geopedológico." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (1): 87-99. doi: 10.15446/rcdg.v27n1.51135.

-
- a Dirección postal: Instituto de Geología (INGEO), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Av. Ignacio de la Roza esquina Meglioli J5400, San Juan - Argentina.
Correo electrónico: emma_geol@hotmail.com – ORCID: 0000-0003-1106-1979.
- b Dirección postal: Instituto de Geología (INGEO), Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biosfera (CIGEOBIO), Departamento de Geología y de Biología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Av. Ignacio de la Roza esquina Meglioli J5400, San Juan - Argentina.
Correo electrónico: graciela_suvires@yahoo.com.ar – ORCID: 0000-0002-4633-0668.

Perigos hidrometeorológicos num vale árido: abordagem geopedológica

Resumo

Expõe-se a análise geopedológica do vale intermontanhoso de Zonda (Argentina), com o objetivo de que esta seja aplicada em estudos de ordenamento territorial. Os resultados indicam que os riscos provêm de três bacias principais: duas locais (descidas dos sopés, rio Seco de la Ciénaga) e uma regional (rio San Juan), cada uma com suas próprias características. Os perigos mais importantes correspondem a processos de desmoronamentos e inundações provenientes dos limites do vale, bem como de transbordamento dos máximos caudais estivais do rio San Juan. Os resultados foram apresentados em mapas que contêm unidades de relevo e riscos hidrometeorológicos associados. Os assentamentos humanos crescem no vale em contato com o sopé e estão ameaçados principalmente por desmoronamentos de recorrência anual e estival.

Palavras-chave: desmoronamento, desenvolvimento sustentável, estratégias, geopedologia, desmoronamento, estratégias, geopedologia, inundações.

Hydrometeorological Hazards in an Arid Valley: A Geopedological Approach

Abstract

The article presents a geopedological analysis of the intramontane valley of Zonda, Argentina, so that it can be applied in territorial ordering studies. The results indicate that the risks arise from three main basins: two local basins (piedmont coalescent alluvial fans and Río Seco de la Ciénaga) and a regional one (Río San Juan), each one with its own characteristics. The most significant hazards correspond to mudslide and flood processes originating at the borders of the valley when the maximum summer flows of the San Juan river are surpassed. The results were presented in maps showing topographical units and associated hydrometeorological hazards. Human settlements are increasing in the valley next to the piedmont and they are mainly exposed to annual and summer mudslides.

Keywords: mudslides, sustainable development, strategies, geopedology, floods.

Introducción

Numerosas regiones de Argentina han sido afectadas por distintos tipos de desastres a lo largo de la historia. Por su daño y recurrencia, los más predominantes han sido aquellos procesos que tienen causas de origen hidrometeorológico, por ejemplo, las inundaciones (Celis et al. 2008). Los peligros por inundaciones se relacionan con un aumento de la frecuencia de eventos climáticos. Los modelos de desarrollo que no contemplan la dinámica del medio natural derivan en un crecimiento no planificado de los asentamientos humanos, en la ocupación de áreas de elevado riesgo y la ausencia de controles en el uso del suelo (Rodríguez y Suvires 2016).

Diversos procesos geológicos exógenos afectan el borde occidental de Argentina. Las lluvias torrenciales y los deslizamientos ocurren frecuentemente en la cordillera de los Andes y la precordillera de San Juan. Debido a sus características impredecibles, estos fenómenos dan lugar a eventos peligrosos y costosos cuando se producen cerca de la civilización (Alonso 1992; Esper 2012; Groeber 1916; Igarzábal 1979).

Cuando las lluvias torrenciales en los meses de verano alcanzan un cauce seco, originan un gran caudal durante un corto periodo. Este fenómeno, en el que se produce un incremento de descarga de agua, se denomina aluvión. Este consiste en crecientes caracterizadas por su alta velocidad, poca profundidad, gran carga de sedimentos y detritos (Ocaña, Suvires y Flores 2016; Perucca y Paredes 2005). Estos fluidos viscosos tienen la capacidad de transportar grandes bloques de rocas, árboles e incluso viviendas con relativa facilidad (Cruden y Varnes 1996).

El estudio de los peligros y los riesgos no siempre contempla la susceptibilidad de cada ambiente geomorfológico. La respuesta de cada unidad geomorfológica o unidad territorial es diferente ante un mismo peligro o amenaza, debido a las variaciones de sus propiedades intrínsecas (naturaleza y característica del depósito, cementación, suelos y otros aspectos) y externas del ambiente regional donde se encuentra (Lloret y Suvires 2006).

Este artículo es la síntesis de un análisis multiescalar de la geomorfología de Zonda, en el que se diferencian además los tipos de peligrosidad hidrometeorológica que afectan a la zona y que amenazan a una población de aproximadamente 5.000 personas (INDEC 2010). La región de estudio se halla ante el peligro de dos riesgos naturales, uno de origen endógeno (los sismos-terremotos) y otro de origen exógeno-climático (los aluviones e

inundaciones). Las amenazas hidrometeorológicas en esta región provienen de cuencas de regímenes de alimentación diferentes.

Ubicación del área

El área de estudio se ubica a 40 km hacia el oeste de la ciudad capital de San Juan, en el valle denominado depresión tectónica de Zonda (figura 1). Se localiza, según coordenadas Gauss Kruger, en la intersección del paralelo $x = 6510000$ m y el meridiano $y = 2525000$ m, a los 680 m.s.n.m. El paisaje está compuesto por serranías perimetrales con vegetación xerófila (Flores y Suvires 2012) y una región central, donde se asienta la cabecera departamental de Villa Basilio Nievas, que cuenta con 4.863 habitantes (INDEC 2010).

El clima árido de esta región pertenece al tipo BWwka (Köppen 1923), en donde BW corresponde a clima seco de desierto con vegetación xerófila o sin vegetación y concentración estival de las precipitaciones (w), inferiores a un promedio menor a 100 mm/año. El término k hace referencia a temperatura media anual menor de 18 °C y el término a indica temperatura del mes más cálido mayor a 22 °C. Existe gran radiación solar y transparencia atmosférica, además de una notable amplitud térmica anual y diurna/nocturna (Poblete y Minetti 1989). Los vientos provienen del sur y del noroeste. La vegetación pertenece a la provincia fitogeográfica del Monte (Cabrera 1994).

Este valle, ubicado en el centro de la depresión tectónica, es atravesado de oeste a este por el cauce y llanura del río San Juan, hasta su descarga en el embalse de Ullum. Las actividades de la población giran en torno a las épocas de cosechas, los empleos en la municipalidad, el destacamento policial, las salas de salud y los trabajos temporarios en pequeños complejos turísticos.

De 1960 a 1970, el Instituto Nacional del Agua (INA) estudió el valle de Ullum-Zonda desde el punto de vista hidrogeológico de la cuenca del río San Juan (Rocca 1969). En 1976, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria —en adelante, INTA— hizo un diagnóstico de los suelos de los valles de Ullum y Zonda para la construcción de la Presa Embalse de Ullum, con el fin de ampliar el regadío de la superficie inculta del valle de Tulum. Los suelos en el área de estudio, correspondiente a la parte central de la depresión tectónica, son empleados para el cultivo de vid y olivos, y se fundan sobre depósitos del mega abanico aluvial del río San Juan (Suvires 2014). Están constituidos por capas de

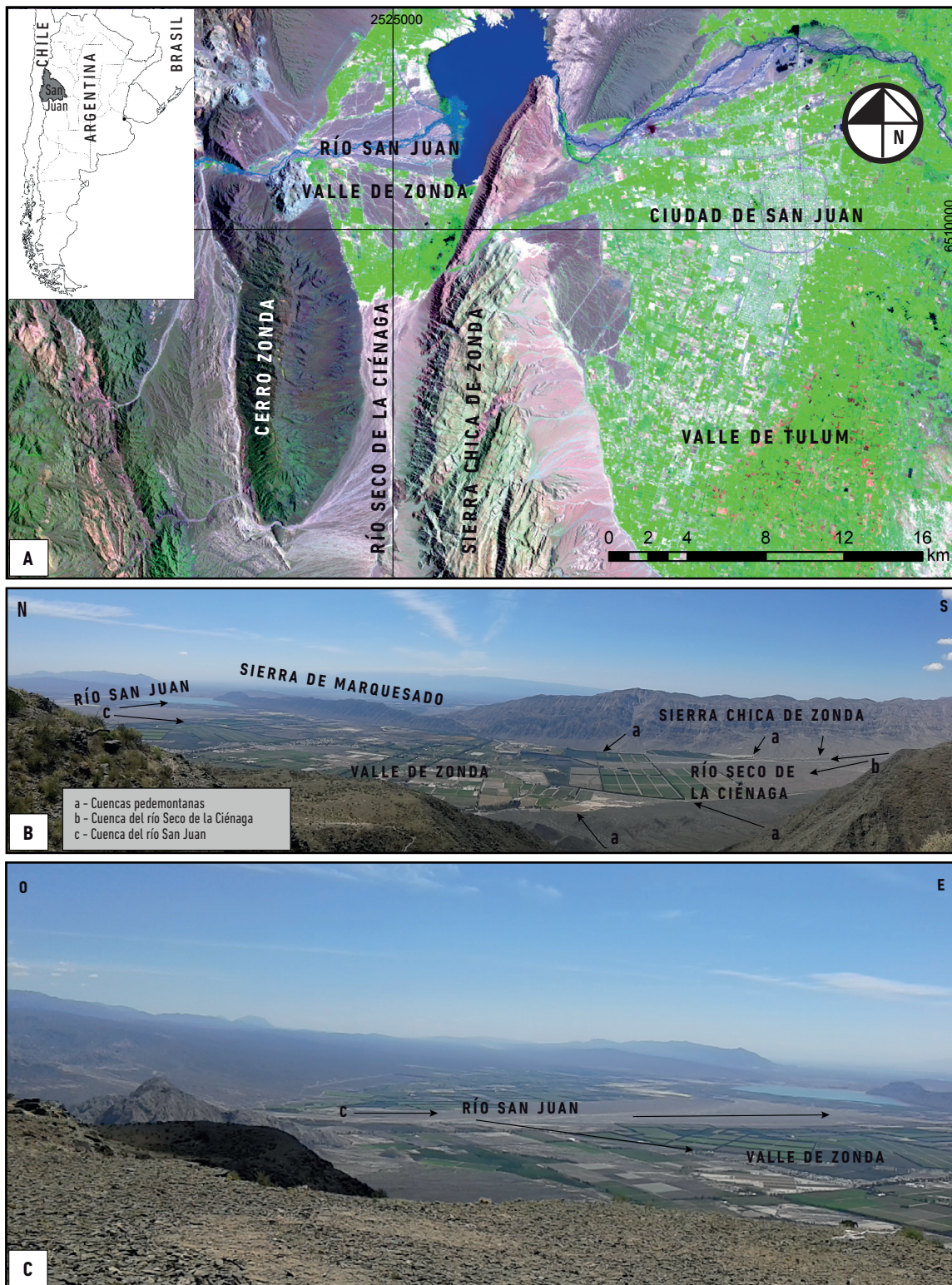


Figura 1. a) ubicación del área de estudio; b) vista al este del valle de Zonda; c) vista al norte del valle de Zonda, cuenca del río San Juan, planicie aluvial actual y cauce.

Datos: a) Imagen Landsat 7, combinación de bandas RGB 741, abril del 2009; b–c) Fotografía de los autores, octubre del 2014.

Nota: en la fotografía b, los puntos corresponde a: cuencas pedemontanas (a), cuenca del río Seco de la Ciénaga (b) y cuenca del río San Juan (c).

gravas intercaladas con arenas, limos y con depósitos de canales abandonados. Estos suelos son altamente permeables, tienen alta pedregosidad y una pendiente media de 0,3% hacia el S-SE. Corresponden al Orden Entisol y se destacan los subórdenes TorriFuventes y TorriOrthents (INTA 1976).

Pittaluga y Suvires (2011), mediante ensayos y modelos de laboratorio, demuestran que los flujos con distintas densidades y contenidos, en la relación material sólido frente a agua, favorecen la formación de distintos segmentos de abanicos, sin necesidad de la participación de la tectónica. Suvires et ál. (2012) analizaron los subsistemas físico y biótico en el piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, con ello reconocieron las amenazas potenciales de aluviones, mediante el análisis de depósitos de abanicos aluviales, y brindaron medidas preventivas de control, a través de la dispersión y revegetación con *deuterocohnia longipetala* (chaguar), debido a su alta resistencia a las condiciones xéricas, elevada capacidad de fijación y formación de suelos.

Marco conceptual

La geopedología es un enfoque metodológico al servicio del inventario de suelos y provee, simultáneamente, un marco para el análisis de los patrones de distribución geográfica de los suelos (Zinck 2002). El prefijo geo- se refiere a la superficie de la tierra y como tal abarca, además de la geomorfología, nociones de geología y geografía. Sin embargo, en el concepto de geopedología, el énfasis es en la geomorfología, como factor estructurante mayor del paisaje pedológico. En este sentido, el vocablo geopedología es una contracción conveniente de geomorfopedología.

McFadden y Knuepfer (1990) consideran que la relación suelo-forma de terreno es de interacción y retroalimentación mutua. Cuando mejor se entienden los suelos, incluyendo la velocidad en la que operan los procesos de formación y las variaciones relacionadas con su posición en el paisaje, mayor será la comprensión de los procesos que originan el paisaje geomorfológico.

El agua tiene un papel fundamental en la construcción y destrucción del paisaje geomorfológico, además es indispensable en los procesos pedogenéticos en cuanto que es formadora de suelos en ambientes áridos (McDonald et ál. 1996). El movimiento de los sedimentos superficiales o dentro del perfil del suelo está sujeto a la dinámica hídrica de escurrimiento superficial y subsuperficial (Evenari, Noy-Meir y Goodall 1985).

Las avenidas o aluviones se asocian tanto a las altas precipitaciones estivales, durante breves tiempos, como a las crecidas de corrientes encauzadas, que generan un pico de crecida que también pasa rápidamente, por lo que resultan ser un fenómeno estrictamente vinculado a exclusivas condiciones de superficie (González y Navarro 2004).

Características morfoneotectónicas que influyen en los peligros de aluviones

La región de la depresión intermontana de Zonda se encuentra bajo la influencia de la subducción subhorizontal de la placa de Nazca por debajo de la sudamericana (Alvarado, Beck y Zandt 2007; Alvarado et ál. 2009). Esta situación origina una elevada sismicidad de intraplaca y numerosas expresiones morfológicas de actividad tectónica moderna (Costa et ál. 2000; Ramos et ál. 1986). Perucca, Lara y Vargas (2012) realizaron un análisis de fallamiento moderno de la depresión en el sur del río San Juan y, de este modo, separaron las unidades de precordillera: oriental y central. Hacia el borde occidental del valle, en el piedemonte del cerro Zonda, afloran unos sistemas de fallas denominados Cerro Zonda Sur (de vergencia oriental), que expone rocas sedimentarias de edad devónica de Formación Punta Negra (Braccacini 1949), y Cerro Zonda Norte (de vergencia occidental), que provoca el afloramiento de arcilitas y areniscas de edad miocena correspondientes a la Formación Albarracín (Leveratto 1968).

Por su parte, hacia el borde oriental del valle, se encuentra el piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, atravesado por el sistema de fallamiento regional denominado Villicum-Zonda (vz) de vergencia occidental, que expone calizas y dolomías de edad cámbrica-orдовicica (Baldis et ál. 1981; Bordonaro 1980; Kobayashi 1937a, 1937b) que caracterizan la precordillera oriental. Esta falla regional corresponde a un sistema de fallamiento profundo que involucra al basamento y lo eleva cerca de la superficie (Gardini 1993) dejando una zona triangular de piel gruesa. El eje de esta zona triangular se ubica en coincidencia con el trazado del cauce del río Seco de la Ciénaga (al sur del oasis de Zonda). Esta disposición morfoneotectónica de los piedemontes aledaños a la población de Zonda influye notablemente en los perfiles de equilibrio de los cauces, los modifica y genera condiciones de inestabilidad hídrica. Suvires (2013) observa en el piedemonte noroccidental de la sierra Chica de Zonda diferentes depósitos cuaternarios, dispuestos

en un piedemonte de elevada pendiente, y con evidencias de actividad tectónica reciente. Esta autora destaca la existencia de una alta carga detrítica que se moviliza a lo largo de los cauces secos activos ubicados en los abanicos aluviales del piedemonte. Estas cargas constituidas por bloques y fragmentos de calizas, pedernal y dolomías, se movilizan gravitacionalmente a la manera de flujos de detritos, acelerados por lluvias ocasionales de verano. Los factores climáticos (extrema aridez) y litología sedimentaria en la cuenca de aporte crean condiciones especiales para generar altas cargas detríticas, para ser transportadas por futuros aluviones. Los piedemontes que bordean por el oeste y este al valle de Zonda son de tipo tectónico, lo que indica altos volúmenes de carga sedimentaria cuaternaria, que está disponible para el transporte y acumulación en estas cuencas de recepción sedimentarias.

Metodología

Las imágenes satelitales Landsat 7 y los modelos digitales de elevación —en adelante, DEM—, descargados desde el sitio web Global Land Cover Facility (sf), fueron usados para delimitar las áreas y las cuencas. A partir del procesamiento del DEM con el software SAGA GIS v2.1, se calcularon las propiedades morfométricas y se delimitaron las cuencas pedemontanas con el módulo *terrain analysis*. De este modo se obtuvieron los atributos de las unidades geomorfológicas, tales como superficie, densidad de drenaje, pendiente media, altura máxima y mínima, con sus contenidos edafológicos o litologías de sus depósitos determinados, en campo y con antecedentes bibliográficos (INTA 1976; Suvires 1990).

Las tres cuencas han sido diferenciadas según su régimen de alimentación: una corresponde a las cuencas de bajadas pedemontanas, cuyas corrientes son alimentadas por lluvias estivales en las serranías locales; otra es alimentada por el río San Juan, de régimen nivo-glacial, y una tercera región es alimentada por las descargas hídricas estivales del río Seco de la Ciénaga y por descargas de agua subterránea provenientes del nor-noroeste del área de recarga del cauce del río San Juan. Las unidades geomorfológicas identificadas fueron nueve, donde se incluye el área montañosa serrana, según criterios morfogenéticos (Ocaña, Suvires y Pittaluga 2014). Estas unidades fueron manipuladas como archivos vectoriales en el sistema de información geográfica (SIG) Quantum Gis 1.8.0., a partir del cual se realizó el análisis geopedológico y morfométrico.

Siguiendo la metodología geopedológica de Zinck (2002), las unidades geomorfológicas se dividieron en paisajes, tipos de relieves y facies para ser concatenadas con las categorías taxonómicas de suelos en el nivel de suborden. De este modo resultaron nueve unidades geopedológicas, cada una identificada por un índice —en adelante, ID— (figura 2). Estas ID tienen distintas superficies y localizaciones dentro del valle, por lo tanto la distancia a la porción distal del piedemonte del Cerro Zonda, sitio de salida de los aluviones hacia el poblado, dependerá de la ubicación que ocupe cada unidad dentro del valle de Zonda. Algunas unidades ID de escasa expresión superficial fueron desconsideradas en la figura 3, tal como los depósitos lacustres ubicados en el borde distal del piedemonte en su contacto con la parte central del valle. Las jerarquías utilizadas entre las unidades geomorfológicas fueron correspondidas con las de su jerarquía pedológica.

Finalmente, en el oasis de Zonda, se superpusieron capas temáticas de información, provenientes del análisis geomorfológico (ID), la red de drenaje y densidad de población-actividades antrópicas, para diferenciar regiones y tipos de riegos. Los dos tipos (inundaciones y aluviones) fueron separados y diferenciados en alto, medio y bajo, en función de la exposición de la unidad geopedológica a estos dos riesgos; se usaron los niveles alto para mínima distancia y alta exposición, y medio y bajo para la distancia mayor y en consecuencia menor exposición. De este modo, las referencias se construyeron de forma jerárquica, estableciendo una interrelación adecuada entre las unidades geopedológicas (figura 4).

Cuencas diferenciadas

La identificación y separación de las cuencas de la región permitió diferenciar unas zonas de peligro: a) las bajadas pedemontanas occidental y oriental respecto a la depresión, con cuencas de alimentación pluvial estival de tipo local, autóctonas y temporarias; b) el río San Juan, ubicado en el norte del poblado de Zonda, cuenca de régimen nivoglacial, autóctona y permanente; y c) una zona que recibe descargas hídricas subterráneas provenientes del sector de recarga del acuífero, que coincide con el cauce y planicie de inundación del río San Juan, sumado a las descargas aluvionales distales de la cuenca del río Seco de la Ciénaga, de régimen pluvial y ocasionales nevadas invernales, temporario y alóctono que proviene del sur del valle (figura 2).

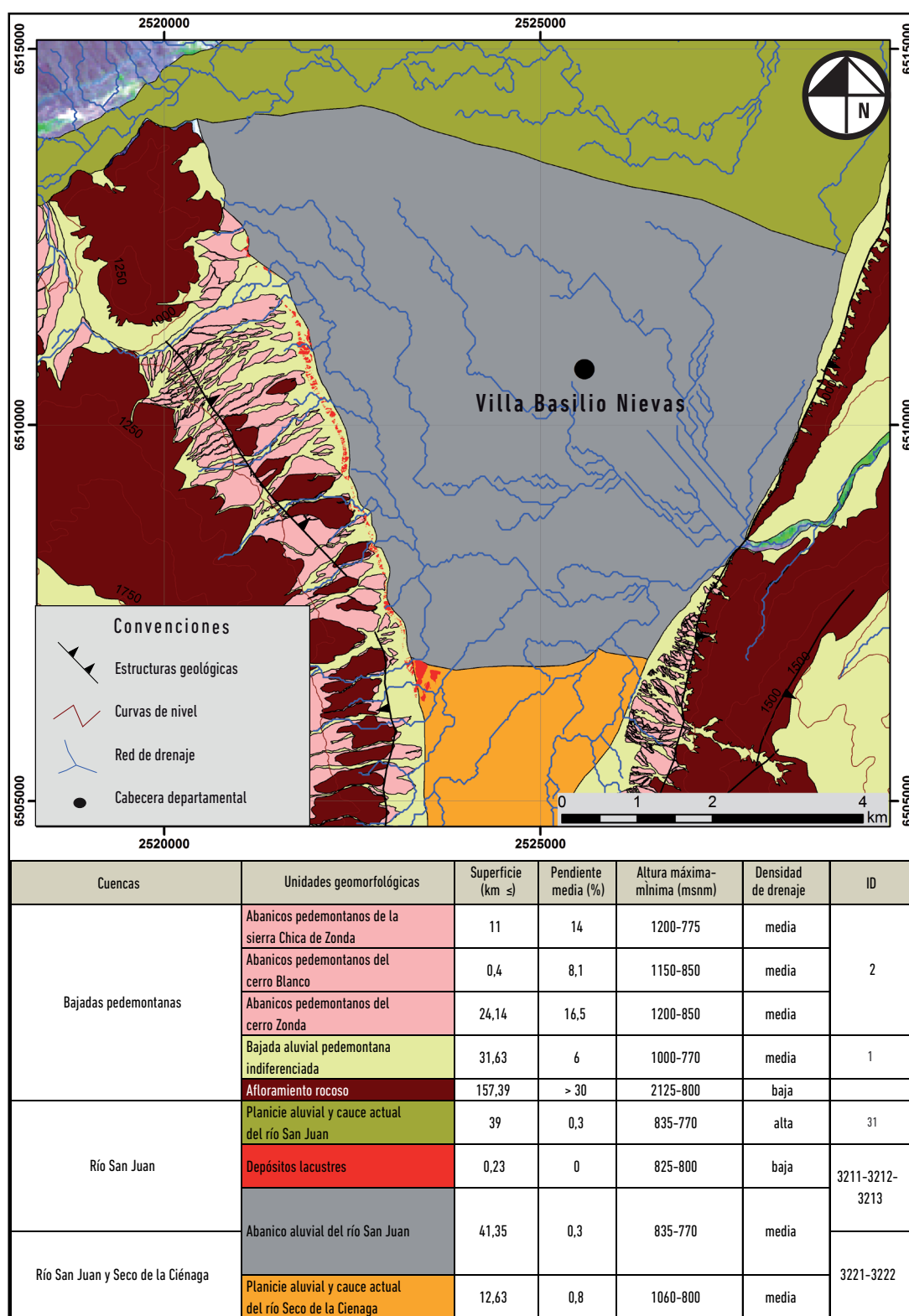


Figura 2. Cuencas y unidades geomorfológicas de la región con sus atributos y características morfo-métricas. Datos: capas vectoriales de unidades geomorfológicas con red drenaje obtenida a partir del procesamiento de un modelo digital de elevación.

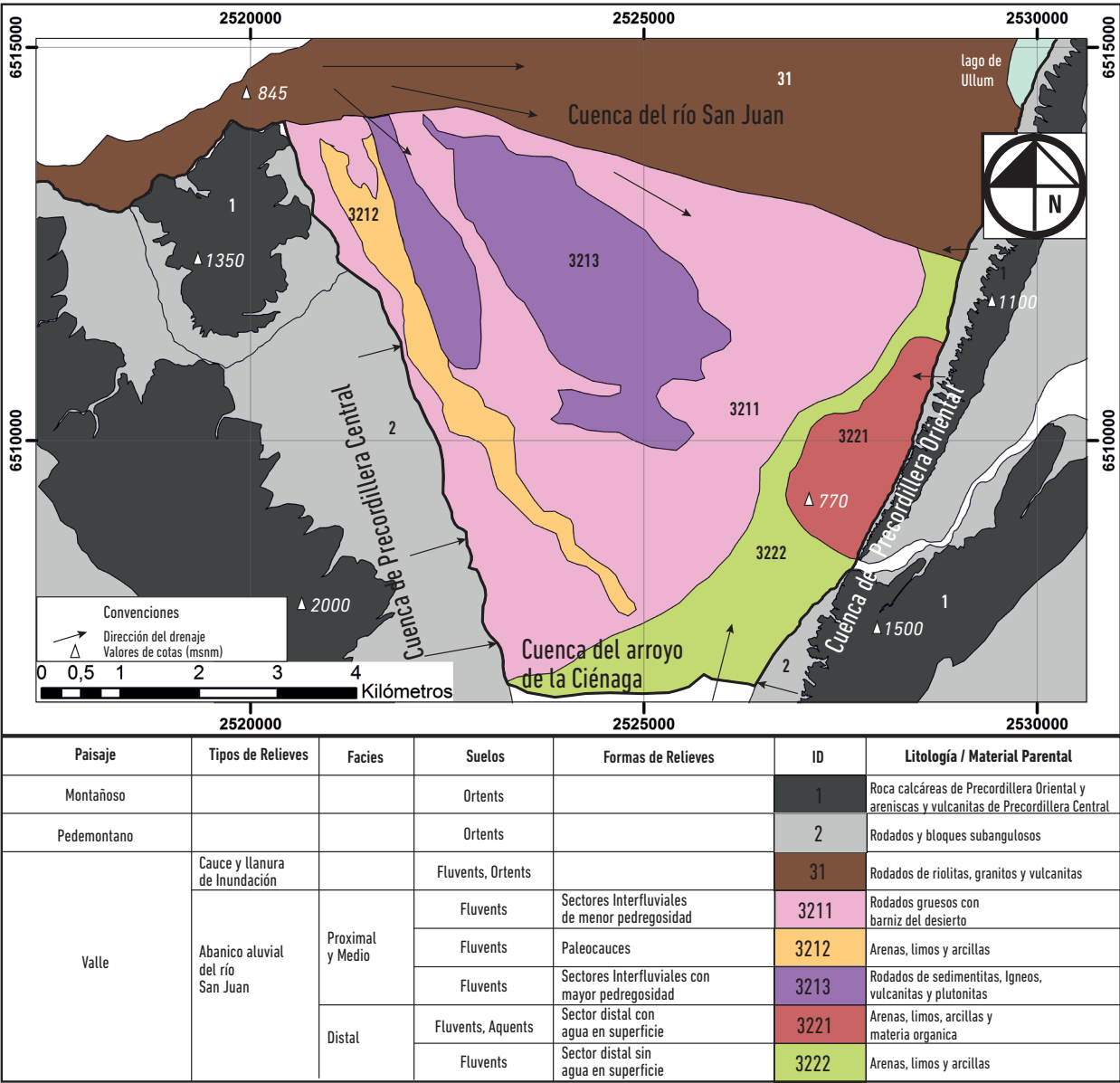


Figura 3. Paisajes, tipos de relieves, facies, suelos y formas de relieves de las ocho ID del valle de Zonda. Datos: capas vectoriales obtenidas a partir de interpretación de imágenes satelitales Lansat 7 y de Google Earth, verificadas posteriormente en trabajo de campo.

En los últimos años, la regulación del caudal del río San Juan, a través de la fundación de dos diques en el valle de Zonda, lo ha limitado en su recorrido por el valle, lo que ha provocado una disminución en la recarga natural del acuífero libre de Zonda. Esta situación ha coincidido con un ciclo climático seco, con escasas precipitaciones nibeas en la cordillera. Los máximos caudales del río San Juan se registran en las estaciones de primavera-verano (diciembre-marzo), debido al comienzo y terminación de los derretimientos nivales.

Es preciso destacar que el análisis de peligros y riesgos en esta región implica un conocimiento mayor de las características hidrogeológicas y geomorfológicas, así como una atención al movimiento del agua subterránea y superficial. El terremoto de 1977 en la ciudad de San Juan, según registros de periódicos locales, produjo algunos efectos de licuación de los suelos en la región de Zonda (Suvires y Pittaluga 2011). La dinámica hidrogeológica es fácil de comprender si se tiene en cuenta que la amplia superficie central de la depresión

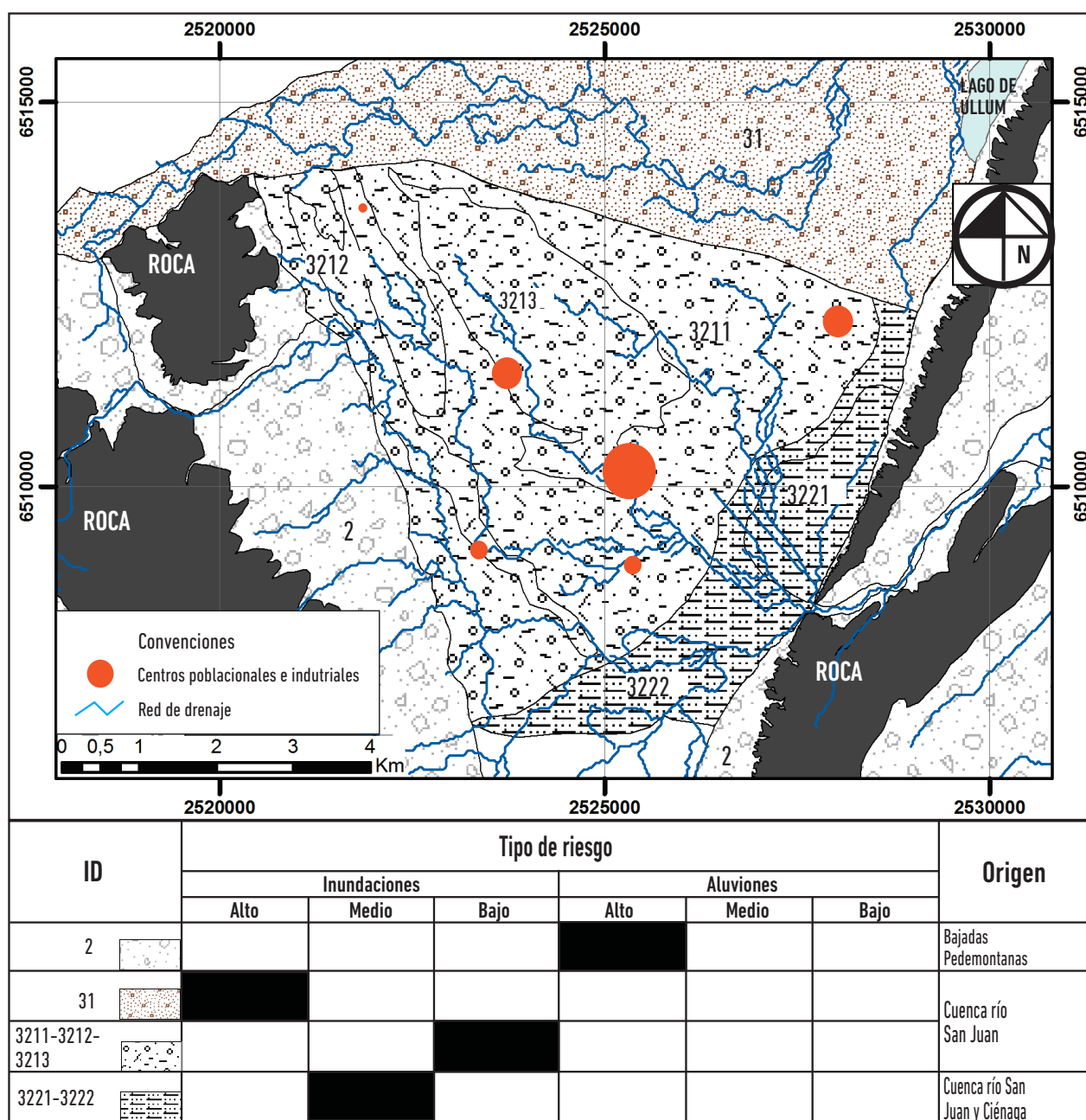


Figura 4. Tipos de riesgos, sus orígenes y principales asentamientos urbanos del valle de Zonda.

Datos: capas vectoriales digitalizadas, teniendo en cuenta mapas geológicos y/o litológicos del valle de Zonda y alrededores. Red de drenaje obtenida del procesamiento del modelo digital de elevación.

Nota: la capa vectorial de puntos, representan la ubicación y magnitud de los centro poblacionales e industriales.

de Zonda está ocupada por un mega abanico aluvial paraglacial (Suvires 2014), depositado por el río San Juan en épocas del derretimiento glacial cordillerano en el Pleistoceno tardío, cuyo desarrollo morfológico en superficie estuvo controlado por el obstáculo del frente montañoso de la precordillera oriental. El mega

abanico tiene un relleno detrítico aluvial sedimentario de edad Cuaternario, con una potencia superior a los 800 m (Rocca 1969). Contiene un acuífero libre que provee de agua a la ciudad de San Juan a través de perforaciones o pozos, principalmente en épocas de sequía.

Los tipos de riesgos a las inundaciones y los aluviones, según las distintas ID, fueron expresados en categorías de alto, medio y bajo.

Las unidades ID con riesgo alto a las inundaciones corresponden a la unidad 31, vinculada a la dinámica de la cuenca del río San Juan, mientras que el riesgo alto a los aluviones corresponde a la unidad geopedológica 2, asociada a las cuencas locales de las bajadas pedemontanas occidental y oriental.

El riesgo a las inundaciones de grado medio se sitúa en las unidades geopedológicas ID 3221 y 3222, vinculado a la influencia de la cuenca del río San Juan desde el norte y del río Seco desde el sur.

Por su parte, los aluviones originados en las bajadas pedemontanas de ocurrencia estival tienen su máxima frecuencia e intensidad entre diciembre y marzo. Finalmente, la combinación de los flujos aluvionales del río Seco de la Ciénaga, provenientes del sur, en unión con caudales máximos del río San Juan, ambos de ocurrencia estival (diciembre-marzo), afectan a la zona distal del mega abanico de Zonda, en las ID 3221 y 3222 (figura 3).

Los aluviones son de alta intensidad en las bajadas pedemontanas y en las áreas de contacto con la porción central del valle. Así mismo, las inundaciones son altas en las unidades vinculadas al río San Juan y de mediana frecuencia en la región donde la dinámica del río San Juan se combina con la del río Seco de la Ciénaga. Sin este análisis, la región se presenta a priori con grandes posibilidades de expansión urbana y agrícola; no obstante, estos resultados demuestran las actuales limitaciones en el uso de este territorio (figura 4).

Conclusiones

Las unidades con riesgo alto de inundaciones corresponden a las unidades geomorfológicas 31, vinculadas a la dinámica fluvial permanente del río San Juan, mientras que el riesgo alto de aluviones se presenta en las unidades de relieve de las bajadas pedemontanas occidental y oriental, unidades 2, donde su corto recorrido y alta pendiente favorecen los flujos rápidos ante las lluvias torrenciales de verano. Las unidades de relieves ubicadas en la porción distal del mega abanico de la cuenca del río San Juan presentan un grado medio a inundaciones (unidades 3221 y 3222), particularmente por descarga de agua subterránea y proximidad del nivel freático a la superficie. Las unidades menos propensas

a inundaciones corresponden con la porción proximal a media del mega abanico aluvial.

El análisis del espacio para ordenar o planear el desarrollo de las regiones, minimizando los efectos de los peligros hidrometeorológicos, es sumamente necesario. Esta región se presenta, a priori de su estudio, con grandes posibilidades de expansión urbana y agrícola; no obstante, este análisis integral entre cuencas, geomorfología y datos de campo permite demostrar que el área útil para el desarrollo es mínima y queda tan solo reducida al cuerpo del mega abanico, en su porción proximal-media.

Algunos lineamientos para la gestión territorial, con base en los resultados de la presente investigación, fueron: la construcción de trampas naturales en los piedemontes aledaños, consistentes en barreras transversales a la circulación del flujo de los aluviones y embalsamiento; medidas de educación sobre el riesgo dirigidas a la población; el refuerzo de las actuales defensas en gaviones en las márgenes del río San Juan, particularmente en su salida hacia el valle de Zonda; el refuerzo de las defensas y el encauzamiento del flujo del río Seco de la Ciénaga en su terminación o proximidad con el poblado zondino; el control de las acciones antrópicas dentro de un plan de manejo total de la cuenca del río San Juan; medidas de prevención para la población, con los recursos energéticos necesarios para las fechas con probabilidad de ocurrencia de aluviones estivales.

Los dos riesgos hidrometeorológicos detectados en la región son los aluviones y las inundaciones, ambos pertenecientes a las cuencas y con causas diferentes. Los primeros se desarrollan a través de los arroyos temporarios, que descienden y drenan las bajadas pedemontanas, mientras que los segundos se presentan cuando los caudales del río San Juan superan el cauce y se desbordan hacia el sur e inundan algunas partes de la zona.

Referencias

- Alonso, Ricardo N. 1992. "Riesgos geológicos en el norte argentino." *Congreso Geológico Boliviano, Boletín* 27:213-216.
- Alvarado, Patricia, Susan Beck, y George Zandt. 2007. "Crustal Structure of the South-Central Andes Cordillera and Back-Arc Region from Regional Waveform Modeling." *Geophysical Journal International* 170 (2): 858-875. doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03452.x.

- Alvarado, Patricia, Mario Pardo, Hersh Gilbert, Silvia Miranda, Megan Anderson, Mauro Saez, y Susan Beck. 2009. "Flat-Slab Subduction and Crustal Models for the Seismically Active Sierras Pampeanas Region of Argentina." *Geological Society of America Memoirs* 204:261-278. doi: 10.1130/2009.1204(12).
- Baldis, Bruno, Osvaldo Bordonaro, Matilde Beresi, y Enrique Uliarte. 1981. "Zona de dispersión estromatolítica en la secuencia calcáreo dolomítica del Paleozoico Inferior de San Juan." En *Actas del VIII Congreso Geológico Argentino*, tomo 2, 419-434. San Luis: Congreso Geológico Argentino.
- Bordonaro, Osvaldo. 1980. "El Cámbrico en la Quebrada de Zonda, Provincia de San Juan." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35 (1): 26-40.
- Bracaccini, O. 1949. "El perfil de Tambolar." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 4 (3): 165-179.
- Cabrera, Angel. 1994. "Regiones fitogeográficas argentinas." En *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería*, dirigida por W. F. Kugler, tomo 2, fascículo 1, reimpresión. Buenos Aires: ACME S.A.C.I.
- Celis, Alejandra, Fernando Ostuni, Graciela Kisilevski, Soledad Fernández, Enrique Schwartz, y Julia de Titto. 2008. *Documento país en avance: riesgos de desastres en Argentina*. Buenos Aires: Centro Estudios Sociales y Ambientales.
- Costa, Carlos, Michael Machette, Richard Dart, Hugo Bastías, Juan Paredes, Laura Perucca, Graciela Tello, y Kathleen Haller. 2000. *Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Argentina*. Open-File Report 00-108. United States Geological Survey (USGS). <https://pubs.usgs.gov/of/2000/ofr-00-0108/ofr-00-0108pam.pdf>.
- Cruden, David, y David Varnes. 1996. "Landslide Types and Processes." En *Landslides: Investigation and Mitigation; Special Report 247*, editado por A. Keith Turner y Robert L. Shuster, 36-75. Washington D.C.: National Academy Press.
- Esper, María. 2012. "Análisis de la vulnerabilidad por flujos en masa en la provincia de San Juan (oeste de Argentina)." *Revista de la Sociedad Geológica de España* 25 (3-4): 145-156.
- Evenari, Michael, Imanuel Noy-Meir, y David Goodall. 1985. *Hot Deserts and Arid Shrublands, Part A*. New York: Elsevier.
- Flores, Daniel, y Graciela Suvires. 2012. "Distribución y diversidad de hábitats en el humedal de la Reserva Natural Presidente Sarmiento, San Juan, Argentina." *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83 (1): 194-200.
- Gardini, Marco. 1993. "Estructura superficial y profunda del Valle de Zonda: Precordillera de San Juan." En *Actas del XII Congreso Geológico Argentino*, tomo 3, 93-99. Buenos Aires: Congreso Geológico Argentino.
- Global Land Cover Facility*. sf. Consultado en diciembre de 2014. <http://www.landcover.org/>.
- González, Magdalena, y Edgardo Navarro. 2004. "Inundación y Anegamiento: ¿en que se diferencia el anegamiento de la inundación?" En *Peligrosidad geológica en Argentina: metodología de análisis y mapeo; estudio de casos*, editado por María Alejandra Gonzalez y Norberto Jorge Bejerman, 219-221. Buenos Aires: Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI).
- Groeber, Paul. 1916. *Informe sobre las causas que han producido las crecientes del río Colorado (territorios del Neuquén y La Pampa) en 1914*. Buenos Aires: Talleres Gráficos del Ministerio de Agricultura de la Nación.
- Igarzábal, Antonio. 1979. "Los flujos densos de la Quebrada de Escoipe." En *Actas del VII Congreso Geológico Argentino*, tomo 2, 109-117. Neuquén: Congreso Geológico Argentino.
- INA (Instituto Nacional del Agua y el Ambiente). 2000. *Curvas de igual cota de agua subterránea*. Documento n.º D-37.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina). 2010. "Censo nacional de población, hogares y viviendas 2010, Provincia de San Juan." Consultado en junio de 2014. http://www.indec.gov.ar/censos_provinciales.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135&p=70&d=999&t=o&s=o&c=2010.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1976. *Estudio de los suelos de los valles de Tulum, Ullum y zonda*. Tomo 1 y 2. San Juan: Gobierno de la Provincia de San Juan, y Centro Regional de Aguas Subterráneas del Instituto Nacional del Agua (INA-CRAS).
- Kobayashi, Teiichi. 1937a. "The Cambro-Ordovician Shelly Faunas of South America." *Journal of Faculty of Science* 2 (5): 369-522.
- Kobayashi, Teiichi. 1937b. "A Brief Summary of the Cambro-Ordovician Shelly Faunas of South America Part 2: The List of Non-Graptolite Faunas with Descriptions of Three New Genera and One New Subgenus of Trilobites." *Proceedings of the Imperial Academy* 13 (1): 12-15. doi: 10.2183/pjab1912.13.12.
- Köppen, Wladimir. 1923. *Die Klimate der Erde: Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter & co.
- Leveratto, Miguel. 1968. "Geología de la zona al oeste de Ullum-Zonda, borde oriental de la Precordillera de San Juan, eruptividad subvolcánica y estructura." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 18 (2): 129-158.
- Lloret, Gustavo, y Graciela Suvires. 2006. "Groundwater Basin of the Tulum Valley, San Juan, Argentina: A Morpho-hydrogeologic Analysis of its Central Sector." *Journal of South American Earth Sciences* 21 (3): 267-275. doi: 10.1016/j.jsames.2006.04.002.

- McDonald, Eric, Frederick Pierson, Gerald Flerchinger, y Leslie McFadden. 1996. "Application of a Soil-Water Balance Model to Evaluate the Influence of Holocene Climate Change on Calcic Soils, Mojave Desert, California, USA." *Geoderma* 74 (3): 167-192. doi: 10.1016/S0016-7061(96)00070-5.
- McFadden, Leslie, y Peter Knuepfer. 1990. "Soil Geomorphology: the Linkage of Pedology and Surficial Processes." *Geomorphology* 3 (3): 197-205. doi: 10.1016/0169-555X(90)90003-9.
- Ocaña, Raúl, Graciela Suvires, y María Pittaluga. 2014. "Cartografía geomorfológica digital de la depresión tectónica Matagusanos-Zonda-Acequiún, San Juan, Argentina." *Actas del XIX Congreso Geológico Argentino*, Córdoba, 2 al 6 de junio.
- Ocaña, Raúl, Graciela Suvires, y Daniel Flores. 2016. "Evolución del relieve de un frente montañoso y respuesta del sistema erosivo fluvial ante el forzamiento causado por la actividad tectónica (Andes centrales, provincia de San Juan, Argentina)." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 33 (3): 329-341. doi: 10.22201/cgeo.20072902e.2016.3.449.
- Perucca, Laura, y Juan de Dios Paredes. 2005. "Peligro de aluviones en el departamento Pocito, provincia de San Juan." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60 (1): 64-71.
- Perucca, Laura, Gabriela Lara, y Nicolás Vargas. 2012. "Nueva evidencia de actividad tectónica cuaternaria en la depresión Zonda-Maradona. Provincia de San Juan." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (1): 97-105.
- Pittaluga, María, y Graciela Suvires. 2011. "El modelo periglacial de abanicos aluviales telescópicos: análisis en dos cuencas precordilleranas (31°51'S y 68°28'W)." *Revista Brasileira de Geociências* 41 (3): 558-564.
- Poblete, German, y Juan, Minetti. 1989. *Los mesoclimas de San Juan*. Primera parte Informe Técnico n.º 11 del Centro de Investigaciones de San Juan. San Juan: Universidad Nacional de San Juan.
- Ramos, Victor, Teresa Jordan, Richard Allmendinger, Constantino Mpodozis, Suzanne Kay, José Cortes, y Ricardo Palma. 1986. "Paleozoic Terranes of the Central Argentine-Chilean Andes." *Tectonics* 5 (6): 855-880. doi: 10.1029/TCo051006p00855.
- Rocca, Julio. 1969. *Geología de los valles de Tulum, Ullum y Zonda, Prov. de San Juan, Argentina*. Plan Agua Subterránea. CRAS-INA, sede San Juan.
- Rodríguez, Aixa, y Graciela Suvires. 2016. "Análisis del peligro histórico de inundaciones en la localidad de Chos Malal, Provincia de Neuquén: causas y lineamientos territoriales." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 73 (1): 23-36.
- Suvires, Graciela 1990. "Edafología de la Provincia de San Juan." En *Relatorio de geología y recursos naturales de la Provincia de San Juan: 11º Congreso Geológico Argentino, San Juan, Argentina, 17-21 de Setiembre*, editado por Osvaldo Bordonaro, 334-346. San Juan: Gobierno de la Nación Argentina.
- Suvires, Graciela 2013. "Geomorfología tectónica y evolución del relieve en un sector del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, Precordillera Oriental, Argentina." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30 (2): 324-335.
- Suvires, Graciela 2014. "The Paradigm of the Paraglacial Megafans of the San Juan River Basin, Central Andes, Argentina." *Journal of South American Earth Sciences* 55:166-172. doi: 10.1016/j.jsames.2014.07.008.
- Suvires, Graciela, Daniel Flores, Lucía Gamboa, y María Pittaluga. 2012. "Amenazas de depósitos de laderas en ambientes áridos: la revegetación como acción preventiva (Bromeliaceae-*Deuterocohnia longipetala* [Baker] Mez.)." *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 29:91-100.
- Suvires, Graciela, y María Pittaluga. 2011. "El modelo periglacial de los abanicos aluviales telescópicos: análisis en dos cuencas precordilleranas (31°51' S y 68°28' W)." *Revista Brasileira de Geociências* 41 (3): 558-564.
- Zinck, Alfred. 2002. *Geopedología: elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Holanda: ITC Enschede.

Raúl Emmanuel Ocaña

Licenciado en Ciencias Geológicas de la Universidad Nacional de San Juan - UNSJ (Argentina). Becario doctoral del CONICET con lugar de trabajo en el gabinete de geología ambiental en el Instituto de Geología (UNSJ). Docente universitario adscripto a la cátedra de Edafología. Actualmente desarrolla tareas de investigación en el norte de la ciudad de San Juan (Argentina), en geología del cuaternario de los valles de Matagusanos-Ullum, como base para la planificación territorial y ambiental, con énfasis en el estudio de suelos de zonas áridas y geomorfología del Cuaternario.

Graciela Mabel Suvires

Licenciada en Ciencias Geológicas. Especialista en fotointerpretación para estudios de suelos del Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF), actual Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (Bogotá, Colombia). Doctora en Ciencias Geológicas de la Universidad Nacional de San Juan - UNSJ (Argentina). Investigadora del CONICET. Profesora titular de la cátedra Edafología para Licenciatura en Ciencias Geológicas. Profesora titular de la cátedra Principios de Geomorfología y Suelos para Licenciatura en Ciencias Biológicas (FCEFN-UNSJ). Cuenta con experticia en cartografía geomorfológica, geología del Cuaternario, estudios de suelos y Geología ambiental.